

文章编号:1004-4213(2010)04-0622-4

# 双边带载波抑制调制载波信号馈送系统的研究\*

刘鹏<sup>1</sup>, 赵玲玲<sup>2</sup>

(1 成都理工大学 工程技术学院, 四川 乐山 614000)

(2 鲁东大学, 山东 烟台 264025)

**摘 要:**研究了基于双边带载波抑制调制的高频载波信号馈送系统的传输性能, 分析了双边带载波抑制调制的原理, 系统输出倍频信号的功率以及载波信号经过馈送系统后相位噪声发生劣化的原因. 通过实验测量输入载波信号和输出倍频信号的功率和相位噪声验证了理论分析的正确性. 结果表明, 系统输出倍频信号的功率为 -5.7 dBm, 载波信号经过馈送系统后近端相位噪声劣化了 6 dB, 远端相位噪声劣化了 21 dB.

**关键词:**微波光纤传输技术; 载波馈送; 双边带载波抑制调制; 相位噪声

**中图分类号:** TN761

**文献标识码:** A

**doi:** 10.3788/gzxb20103904.0622

## 0 引言

载波信号在卫星通信中有着极其重要的作用. 目前载波信号大都由振荡器产生, 并通过波导或者同轴电缆进行传输. 随着通信所需载波信号频率不断提高, 振荡器的体积、重量和同轴电缆的传输损耗都越来越大, 使得传统卫星通信有效载荷的局限性愈发明显.

利用微波光纤传输技术(Radio over Fiber, RoF)馈送高频载波信号对于突破上述局限具有十分重要的意义. RoF 技术是一种利用光纤链路传输射频信号的新兴技术, 具有损耗低、带宽高、体积小、重量轻、抗电磁干扰能力强等优点<sup>[1-2]</sup>.

RoF 系统的调制方式分为直接调制和外部调制. 外部调制又分为线性调制<sup>[3]</sup>, 单边带调制<sup>[4]</sup>和双边带载波抑制(Double Sideband-Carrier Suppress, DSB-CS)调制. 基于双边带载波抑制调制的载波信号馈送系统可以使传输信号产生倍频变换, 同时降低光纤色散的影响, 因此得到了广泛关注. 1992 年, O'Reilly 首次对 DSB-CS 调制进行了系统研究, 提出了系统输出倍频信号功率的表达式<sup>[5]</sup>. 2001 年, Furuta 等人研究了利用注入锁定技术提高输出信号的功率<sup>[6]</sup>. 2006 年, Onillon 等人研究了偏置点控制以及馈送路数对输出信号相位噪声的影响<sup>[7]</sup>.

本文主要研究了双边带载波抑制调制载波信号馈送系统对于频率在 10 GHz 以上的高频载波信号

的传输性能, 给出了输出倍频信号功率的表达式, 分析了载波信号经过馈送系统后相位噪声产生劣化的原因并且通过实验测量输入载波信号和输出倍频信号的功率和相位噪声进行了验证.

## 1 理论分析

### 1.1 双边带载波抑制调制

图 1 为 Mach-Zehnder 电光调制器的传输曲线,  $V_0$  为传输曲线的第一个峰值对应的电压,  $V_\pi$  为半波电压. 当偏置电压设定为  $V_0 + V_\pi/2$  时, 调制类型为线性调制; 当偏置电压设定为  $V_0 + V_\pi$  时, 调制类型为双边带载波抑制调制.

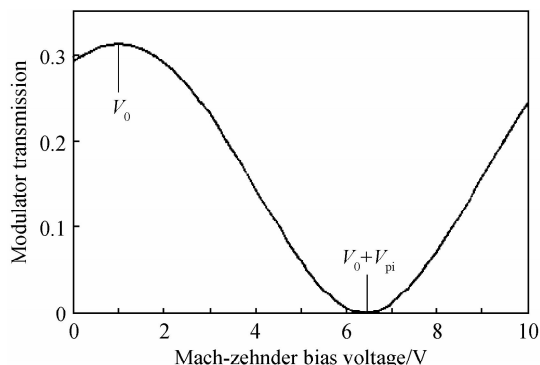


图 1 Mach-Zehnder 电光调制器的传输曲线  
Fig. 1 MZM transfer curve

### 1.2 输出倍频信号功率

设输入载波信号的频率为  $f$ , 功率为  $p_f$ , 则输出倍频信号功率的表达式为<sup>[6]</sup>

$$p_{2f} = \frac{1}{2} R_L \left( \frac{R_O}{R_O + R_L} \right) \left[ P_O G_d J_2 \left( \frac{\pi}{V_\pi} \sqrt{2 p_f R_M} \right) \right]^2 \quad (1)$$

式中,  $R_L$  表示负载阻抗,  $R_O$  表示光电探测器 (Photodetector, PD) 的输出阻抗,  $R_M$  表示调制器的

\* 成都理工大学工程技术学院院基金(C122009008)资助  
Tel: 0833-2274884 Email: liupeng0411@163.com  
收稿日期: 2009-05-12 修回日期: 2009-07-10

输入阻抗,  $P_0$  表示输入调制器的光功率,  $G$  表示光路上的增益,  $r_a$  表示光电二极管的响应度,  $J_2(x)$  为 2 阶贝塞尔函数。

### 1.3 发生相位噪声劣化的原因

表征载波信号相位噪声常用的指标是相位起伏谱密度  $S_\varphi(f)$  和单边带载噪比  $L(f)$ , 二者的关系是<sup>[8]</sup>

$$L(f) = 10 \lg (S_\varphi(f)/2) \quad (2)$$

Leeson 模型相位起伏谱密度的表达式是<sup>[9]</sup>

$$SS_\varphi(f) = [1 + (F_0/2Q_L f)^2] S_\varphi(f) \quad (3)$$

式中,  $S_\varphi(f)$  表示开环(等效输入)相位起伏谱密度,  $F_0$  表示输出载波信号的频率,  $Q_L$  表示振荡器的有载品质因数,  $f$  表示偏离载波的频率。

由式(3)可知, 当  $f < F_0/2Q_L$  时, 振荡器输出载波信号的相位起伏谱密度与输出载波信号频率的平方成正比。因为双边带载波抑制调制载波信号馈送系统可以使传输信号产生倍频变换, 所以由式(2)和式(3)可知, 载波信号经过馈送系统后近端单边带载噪比会劣化 6 dB。

由于自发辐射等因素的影响, 输出激光存在相位噪声, 从而导致输出激光谱线展宽。因为通过双边带载波抑制调制产生的双模激光来源于同一个激光器, 两个模式的相位抖动是同步的, 所以相位噪声不会转化为强度噪声。同时 PD 只能探测光的强度变化, 不能探测光的相位变化, 所以对于双边带载波抑制调制载波信号馈送系统, 激光线宽对于载波信号

经过馈送系统后单边带载噪比的劣化没有影响。

双边带载波抑制调制因为抑制了光载波, 所以输出的双模激光功率很小, 必须通过掺铒光纤放大器(Erbium Doped Fiber Amplifier, EDFA)放大后再送入 PD。EDFA 除了放大信号光外, 还会产生自发辐射光, 经过 PD 探测后, 形成自发辐射噪声, 信号光与自发辐射光之间的拍频噪声, 自发辐射光之间的拍频噪声。一般情况下, 信号光与自发辐射光之间的拍频噪声是主要的, 并且可以视为高斯白噪声。激光器的相对强度噪声(Relative Intensity Noise, RIN)和 PD 的散弹噪声都可以视为高斯白噪声。载波信号经过馈送系统后远端单边带载噪比的劣化主要受这三种噪声的影响。

## 2 实验测量

馈送系统实验装置如图 2。载波信号是由 Agilent8257D 矢量信号发生器产生的; 半导体可调谐激光器作为光源, 调制器采用铌酸锂晶体 Mach-Zehnder 电光调制器, 直流电源用于为调制器提供偏置电压; 双边带载波抑制调制光信号经过一个 1:99 光耦合器, 其中 1% 送入光功率计, 用于监测调制器工作点是否漂移, 另外 99% 经过 EDFA 放大后由 1×4 光耦合器分别耦合到 4 个 PD; PD 输出的倍频信号分别送入 AgilentE4440A 频谱分析仪测量功率和 AgilentE5052B 信号源分析仪测量单边带载噪比。实验条件如表 1。

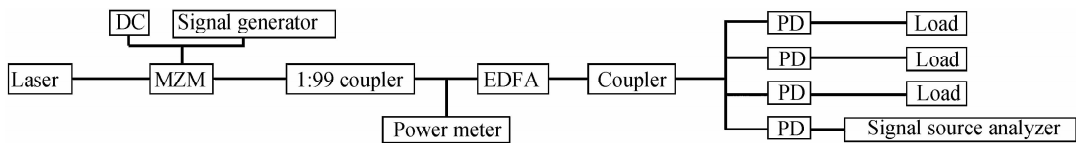


图 2 系统实验装置

Fig. 2 Experimental setup of system

表 1 实验装置参数  
Table 1 Parameters of devices

Wavelength of the laser	1 560 nm
Power of the laser	5 dBm
Frequency of input carrier signal	10 GHz
Power of input carrier signal	10 dBm
$V_\pi$ of the modulator	6 V (@10GHz)
Insertion loss of the modulator	6 dB
Gain of the EDFA	40 dB
Loss of the 1×4 optical coupler	7.4 dB
Responsivity of the PD	0.6 A/W
Insertion loss of the cable	2.7 dB

实验测得输出倍频信号的功率为 -5.7 dBm, 测量结果如图 3。根据实验参量按照式(1)可以求出输出倍频信号的功率理论上为 -2 dBm。实际值小于理论值, 这是光路和电路上的连接损耗造成的。

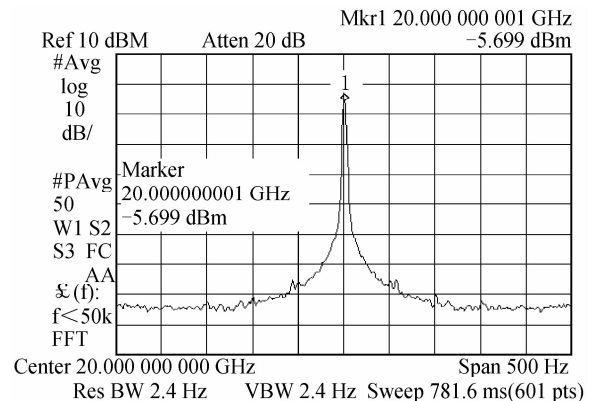


图 3 输出倍频信号功率

Fig. 3 Power of output double frequency signal

实验测得输入载波信号的单边带载噪比如图 4(a), 输出倍频信号的单边带载噪比如图 4(b)。由图可知, 与输入载波信号相比, 输出倍频信号偏离载波

100 kHz 以内的近端单边带载噪比劣化了 6 dB, 偏离载波 1 MHz 以外的远端单边带载噪比劣化了 21 dB. 近端单边带载噪比劣化是由双边带载波抑制调制的倍频变换作用引起的, 远端单边带载噪比劣化是受信号光与自发辐射光之间的拍频噪声, 相对强度噪声, 散弹噪声共同作用的影响. 实验测量结果与理论分析结果基本一致.

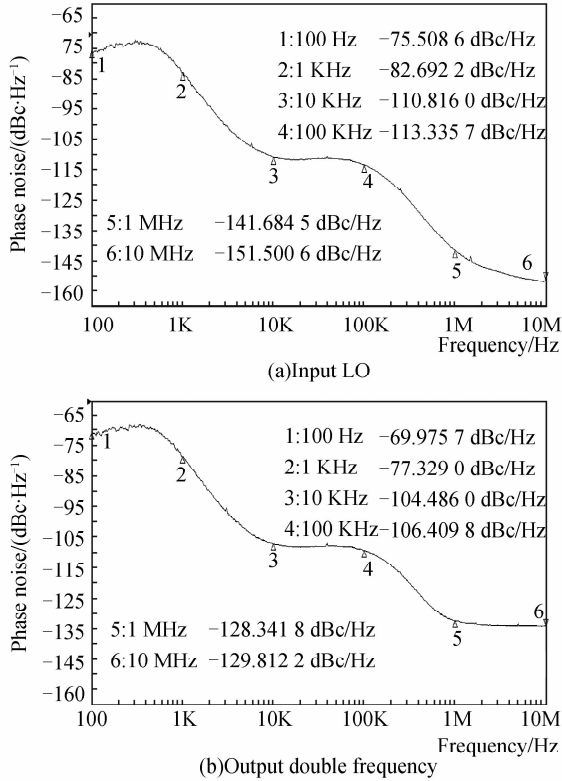


图 4 输入载波与输出倍频信号单边带载噪比  
Fig. 4  $L(f)$  of input LO and output double frequency signals

### 3 结论

载波信号经过馈送系统后近端相位噪声因为双边带载波抑制调制的倍频变换作用会劣化 6 dB, 远端相位噪声受信号光与自发辐射光之间的拍频噪声, 相对强度噪声, 散弹噪声共同作用的影响劣化严重, 激光线宽对相位噪声劣化没有影响.

#### 参考文献

- [1] ACKERMAN E I, COX C H. RF fiber-optic link performance [J]. *Microwave Magazine*, 2001, **2**(4): 50-58.
- [2] SEEDS A, WILLIAMS K J. Microwave photonics [J]. *Lightwave Technology*, 2006, **24**(12): 4628-4641.
- [3] ZHOU Ming-tuo, SHARMA A B, ZHANG Jian-guo, et al. A novel configuration for millimeter-wave radio-over-fiber(ROF) transmission systems with remote local-oscillator delivery [J]. *Acta Photonica Sinica*, 2006, **35**(11): 1725-1729.
- [4] SMITH G H, NOVAK D, AHMED Z. Technique for optical SSB generation to overcome dispersion penalties in fiber-radio systems [J]. *Electron Letters*, 1997, **33**(1): 74-75.
- [5] OREILLY J J, LANE P M, HEIDEMANN R, et al. Optical generation of very narrow linewidth millimeter wave signals [J]. *Electron Letters*, 1992, **28**(25): 2309-2311.
- [6] FURUTA H, MEADA M, NOMOTO T, et al. Optical injection locking of a 38-GHz-band InP-based HEMT oscillator using a 1.55- $\mu\text{m}$  DSB-SC modulated lightwave [J]. *Microwave and Wireless Components Letters*, 2001, **11**(1): 19-21.
- [7] ONILON B, BENAZET B, LOPIS O. Advanced microwave optical links for LO distribution in satellite payloads [C]. Grenoble: MWP'06. International Topical Meeting on, 2006: 1-4.
- [8] PAKER T E. Characteristics and sources of phase noise in stable oscillators [C]. Philadelphia: 41st Annual Frequency Control Symposium, 1987: 99-110.
- [9] LEESON D B. A simple model of feedback oscillator noise spectrum [J]. *IEEE Proceedings*, 1966, **54**(2): 329-33.

## LO Signal Distribution System Based on DSB-CS Modulation

LIU Peng<sup>1</sup>, ZHAO Ling-ling<sup>2</sup>

(1 *Engineering and Teaching College of Chengdu University of Technology, Leshan, Sichuan 614000, China*)

(2 *Ludong University, Yantai, Shandong 264025, China*)

**Abstract:** The transmission performance of the carrier signal distribution system based on double sideband-carrier suppression modulation is studied. The principle of double sideband-carrier suppression modulation, the expression of the output power at double frequency and the influence factors of phase noise degradation induced by the system are analyzed and verified by measuring the power and phase noise of the input carrier signal and the output double frequency signal. It is shown that the output power at double frequency is  $-5.7$  dBm, the close-to-carrier phase noise of the output double frequency signal is inherently degraded by 6 dB and the far-from-carrier phase noise is degraded by 21 dB.

**Key words:** Radio over fiber; LO signal distribution; DSB-CS modulation; Phase noise



**LIU Peng** was born in 1981. She received the M. S. degree from School of Physics and Optoelectronic Engineering, Dalian University of Technology in 2008, and her research interests focus on in binary optics and microwave photonics.